

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ НА СЕНСОМОТОРНУЮ ОЦЕНКУ ЗРИТЕЛЬНЫХ ИЛЛЮЗИЙ¹

**В.Ю. Карпинская^{1,a}, И.С. Соснина², В.А. Ляховецкий³, К.А. Зеленский²,
Е.С. Томиловская²**

¹ Кафедра общей психологии факультета психологии Санкт-Петербургского Государственного Университета, ² Институт медико-биологических проблем РАН, ³ Лаборатория физиологии движений Института физиологии им. И.П.

Павлова РАН

^a karpinskaya78@mail.ru

Аннотация. Исследовали параметры сенсомоторного ответа на иллюзии Мюллер-Лайера и Понзо в двух группах, пребывающих в условиях 5-суточной опорной разгрузки, которую воспроизводили методом «сухой» иммерсии. Испытуемые первой группы (ИМ) не подвергались никаким воздействиям, кроме иммерсионного. Испытуемые второй группы (ИМ+ВН) в ходе иммерсии ежедневно в течение 4 часов применяли весовое нагружение, создаваемое с помощью костюма аксиальной нагрузки «Пингвин». Обнаружены отличия при сенсомоторном ответе в двух группах и различия в оценке двух иллюзий. Пребывание в костюме «Пингвин» ведет к увеличению силы иллюзий, у группы ИМ после окончания иммерсии сила иллюзии Мюллер-Лайера возрастает. Предположительно, основным фактором, влияющим на силу иллюзий, является гравитационная разгрузка, снижающая уровень активации левого полушария, что ведет к использованию метрической системы репрезентации, преимущественно связанной с активностью правого полушария.

Ключевые слова: иллюзия Понзо, иллюзия Мюллер-Лайера, «сухая» иммерсия, гравитация

THE INFLUENCE OF GRAVITATIONAL UNLOAD ONTO SENSORIMOTOR ESTIMATIONS OF VISUAL ILLUSIONS

**V.Ju. Karpinskaya^{1,a}, I.S. Sosnina², V.A. Lyakhovetskii³, K.A. Zelenskii²,
E.S. Tomilovskaya²**

¹ The Department of General Psychology, Faculty of Psychology, St. Petersburg State University, ² Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences,

³ Movement physiology laboratory, Pavlov Institute of Physiology of Russian Academy of Sciences

^a karpinskaya78@mail.ru

Введение

Зрительные иллюзии — популярный стимульный материал, который активно используется в психологических опытах для изучения особенностей восприятия человека. Особый интерес вызывают факторы, влияющие на силу иллюзий. Как правило, описывают зависимость иллюзии от характеристик испытуемого, например, от его происхождения, возраста, уровня образования, а также от параметров экспериментальной ситуации и используемой методики, например, от конфигурации стимулов, вызывающих или не

¹ Работа поддержана грантом РГНФ 16-36-01008, РФФИ №16-29-08320 ОФИ-м.

вызывающих иллюзию, их симультанного или сукцессивного предъявления, модальности стимула и модальности, в которой дается ответ испытуемого (вербальный или сенсомоторный) [Kausler D.H., 2012; Deręowski, 2015; Hesse et al., 2016; Gamble, Song, 2017]. Значительно реже предпринимаются попытки изменить физические характеристики среды, в которой проводится эксперимент. Собственно о зрительных иллюзиях известно, что сила вертикально-горизонтальной иллюзии, а также иллюзий Мюллер-Лайера, Понзо и Геринга уменьшается при микрогравитации, возникающей приблизительно на 20 с при полете самолета по параболической траектории [Villard et al., 2005]. Показано, что у трех космонавтов, совершающих орбитальный полет на станции «Мир», при пребывании на орбите нивелировалась разница во временах реакции и дисперсиях оценки вертикальных, горизонтальных и наклонных отрезков [Lipshits, McIntyre, 1999]. Технические сложности вышеописанных экспериментальных парадигм, а также ограниченность группы потенциальных испытуемых не позволяют детально изучить влияние продолжительной гравитационной разгрузки. Между тем, влияние фактора гравитации на восприятие иллюзий представляет теоретический интерес – согласно некоторым подходам, он критичен для возникновения иллюзии [Parks, 2013].

Изучение механизмов иллюзий, возникающих при сравнении длин двух горизонтальных отрезков, дает возможность выделить факторы, влияющие на оценку размеров объектов. Как было отмечено выше, для проведения экспериментов широко используются зрительные иллюзии Мюллер-Лайера и Понзо. На первый взгляд иллюзии Понзо и Мюллер-Лайера весьма похожи, в обоих случаях присутствует переоценка одной из двух горизонтальных линий. Однако, согласно некоторым исследованиям, механизмы возникновения этих иллюзий могут иметь существенные отличия. Так, по классификации [Coren et. al., 1976] они относятся к различным группам: иллюзиям размера на основе контраста (иллюзия Понзо) и иллюзиям переоценки (иллюзия Мюллер-Лайера). Кроме того, существуют экспериментальные данные, свидетельствующие в пользу того, что иллюзии Понзо и Мюллера-Лайера обязаны своим возникновением особенностям обработки сцены на различных уровнях зрительной системы. [Карпинская, Ляховецкий, 2014]. Эти различия могут способствовать выявлению отличий при оценке и восприятии иллюзий в состоянии гравитационной разгрузки.

Экспериментальной моделью, в рамках которой может быть изучен эффект продолжительной гравитационной разгрузки, является «сухая» иммерсия. Эта модель широко используется в гравитационной физиологии, так как изменения характеристик сердечно-сосудистой, двигательной и других систем человека в «сухой» иммерсии подобны изменениям, наблюдаемым в коротких космических полетах. Основной акцент исследований делается на изучении изменений, могущих представлять опасность для жизни или работоспособности человека, и возможности их предотвращения и компенсации [Томиловская, 2011]. Между тем некоторые данные, а именно: рассогласование кроссмодального взаимодействия в системе глаз-рука [Корнилова и др., 2011] и снижение активности левого полушария при иммерсии [Киренская и др., 2006], свидетельствуют о том, что эта модель может быть использована и в «гравитационной психологии». Другими словами, предполагается, что пребывание в «сухой» иммерсии влияет не только на физиологические, но и на психологические параметры испытуемых. Целью настоящей работы является изучение влияния 5-дневной «сухой» иммерсии на силу иллюзий Понзо и Мюллер-Лайера.

Методика

Стимульный материал включал в себя три типа изображений, в каждом из которых присутствовало два горизонтальных отрезка, которые испытуемый должен был сравнить между собой. Первый тип изображения составляли собственно «нейтральные», не вызывающие иллюзий, отрезки. Во втором типе изображений верхний отрезок был обрамлен «хвостовыми» стрелками, а нижний – «остриями» (вариант иллюзии Мюллер-Лайера). В

третьем типе изображений отрезки были обрамлены сходящимися кверху линиями (классическая иллюзия Понзо). Использовались пять различных длин отрезков: 4, 5.5, 7, 8.5 и 10 см. В ходе предварительных опытов выяснилось, что некоторые испытуемые, знакомые со зрительными иллюзиями, принципиально отвечают «равно» в ответ на вопрос о различии между отрезками. Поэтому для каждого из трех видов изображений были добавлены стимулы, в которых один из отрезков (верхний или нижний) был действительно длиннее, чем другой, на 2 мм. Испытуемые были осведомлены об их наличии, но предъявление стимулов было рандомизировано.

Стимулы, напечатанные черной краской на листах бумаги формата А4, предъявлялись последовательно на пюпитре (расстояние от глаз испытуемого до пюпитра – 60 см) испытуемым, которые находились в положении лежа (не только во время иммерсии, но и в фоновых опытах до и после иммерсии). На каждом этапе эксперимента использовалось 15 изображений: 3 вида стимулов, для каждого – 3 пары отрезков одинаковой длины + 1 пара отрезков, в которой верхний отрезок больше нижнего, + 1 пара отрезков, в которой нижний отрезок больше верхнего. Порядок предъявления стимулов был следующим: сначала на каждом этапе предъявлялось пять нейтральных отрезков, потом пять пар отрезков, обрамленных острями, вызывающих иллюзию Мюллер-Лайера, затем пять пар отрезков, вызывающих иллюзию Понзо.

Осуществлялась моторная оценка длин отрезков ведущей рукой. Для каждого из пятнадцати последовательно предъявляемых изображений задачей испытуемого было провести ведущей рукой по верхнему и нижнему центральным отрезкам, которые он видит перед собой (т.е. в условиях зрительной обратной связи). Один из испытуемых был левшой и выполнял задание левой рукой, другие, правши, выполняли задание правой рукой. Сначала испытуемый вел рукой по верхнему отрезку, затем по нижнему отрезку, слева направо (для правшей) или справа налево (для левши).

Испытуемые были разделены на две группы по 6 человек в каждой. Средний возраст испытуемых первой группы (группа ИМ) составил $34,3 \pm 4,5$ года, второй группы (группы ИМ+ВН) – $24,3 \pm 2,8$ года. Обе группы находились в условиях пятисуточной «сухой» иммерсии. В группе ИМ никаких воздействий, кроме иммерсионного, не применялось. Испытуемые группы ИМ+ВН в ходе иммерсионного воздействия ежедневно в течение 4 часов применяли костюм аксиальной нагрузки «Пингвин», создающий аксиальную весовую нагрузку на тело [Барер и др., 1998]. Этот костюм применяется в космических полетах для компенсации дефицита нагрузки на костно-мышечную систему, а также дефицита весовой, опорной и проприоцептивной афферентации. Действующим фактором костюма является аксиальная весовая нагрузка на различные сегменты тела, создаваемая с помощью резиновых тяжей. У испытуемых группы ИМ+ВН исследования проводили девять раз в следующем порядке: дважды до начала иммерсии (за 48 и 24 ч), затем – по два исследования в первые, третьи и пятые сутки иммерсии – до надевания костюма и через 40-50 мин после надевания костюма, а также – через 5 часов после завершения иммерсии. В группе ИМ опыты проводились шесть раз в следующем порядке: дважды до начала иммерсии (за 48 и 24 ч), затем – по одному исследованию в первые, третьи и пятые сутки иммерсии, а также через 5 часов после завершения иммерсии. Все исследования проводили при положении испытуемого лежа на спине. Исследование в первые сутки иммерсии проводилось через 4 часа после начала воздействия.

Анализ данных. Оценка относительной силы иллюзии (для нейтральных отрезков – относительной переоценки одного отрезка по отношению к другому) проводилась следующим образом. Обработывалась трехмерная траектория движения системы электромагнитных датчиков 3D Guidance trakSTAR (Ascension Technology Corporation, частота дискретизации 80 Гц, погрешность измерения 1,4 мм), прикрепленного к указательному пальцу ведущей руки испытуемого. Обработка была автоматизирована с помощью специально разработанной в среде технических вычислений Matlab 2010b программы. Ручная коррекция полученных значений была необходима лишь для 3%

траекторий. В рамках данной работы проводился только анализ траекторий движений руки по отрезкам, которые действительно не отличались друг от друга. Выделялись координаты начальной и конечной точки движений рабочей точки руки по отрезкам. На основе этих координат были определены длины отрезков и относительная сила иллюзий. Сила иллюзии считалась положительной, если испытуемые переоценивали верхний отрезок, отрицательной, если испытуемые переоценивали нижний отрезок. Для вычисления средней скорости движений руки расстояние между начальной и конечной точкой касания отрезка было поделено на время движения. Полученные величины не были распределены нормально по критерию Колмогорова-Смирнова, поэтому для оценки достоверности отличий между различными значениями величин использовались непараметрические критерии: критерий знаков, Манна-Уитни и Уилкоксона (уровень значимости 0,05 и ниже). Статистическая обработка данных также проводилась в среде технических вычислений Matlab 2010b.

Результаты

Сила иллюзий. На протяжении всего эксперимента для обеих групп испытуемых при моторной оценке ведущей рукой иллюзия Мюллер-Лайера присутствовала и имела тот же обычный знак, что и для вербального суждения – испытуемые переоценивали верхнюю стрелку. Выраженность иллюзий закономерно снижалась от сессии к сессии, но при этом она не достигала близких к нулю значений. Наиболее выраженное снижение силы иллюзии наблюдалось в обеих группах в первые сутки иммерсионного воздействия.

Для группы ИМ в исследованиях, проведенных после иммерсии, сила иллюзии выше, чем в последний день иммерсионного воздействия ($p < 0,05$). В группе ИМ+ВН в каждой из экспериментальных сессий сила иллюзии при весовом нагружении выше (критерий знаков), чем до него.

Иллюзия Понзо присутствовала на протяжении всего эксперимента для обеих групп, но имела обратный знак, – испытуемые переоценивали *нижнюю* стрелку. То есть при моторной оценке, в отличие от зрительной, иллюзии Понзо и Мюллер-Лайера имеют различный знак. Сила иллюзии Понзо у испытуемых двух групп отличалась в первой экспериментальной сессии ($p < 0,03$). При этом группа ИМ+ВН, в которую входили более молодые испытуемые, оценивала верхнюю стрелку длиннее, чем группа СИ. В каждой из экспериментальных сессий у испытуемых группы ИМ+ВН сила иллюзии во время весового нагружения выше (критерий знаков), чем до него. У испытуемых группы ИМ в первые сутки иммерсионного воздействия сила иллюзии Понзо несколько увеличивалась ($p < 0,01$), а затем уменьшалась – в сессии, выполненной после завершения иммерсии, она ниже, чем в первый день иммерсионного воздействия ($p < 0,05$).

Испытуемые обеих групп во все дни оценивали нейтральные отрезки как равные. В каждой из экспериментальных сессий испытуемые группы ИМ+ВН во время весового нагружения оценивали отрезки менее точно, чем до него (критерий знаков).

Скорости. С первого по пятый день иммерсии скорость движения рабочей точки руки испытуемых группы ИМ+ВН в первой сессии достоверно уменьшается для всех типов стимулов (критерий знаков). У испытуемых группы ИМ скорость движения руки по центральным отрезкам иллюзии Понзо уменьшается от первого дня иммерсии к последней сессии исследований ($p < 0,01$). Движения руки по нейтральным отрезкам – самые быстрые, а движения по центральным отрезкам иллюзии Понзо – самые медленные (критерий знаков).

Обсуждение

Сила иллюзий. Для группы ИМ на протяжении иммерсии сила иллюзии Понзо уменьшалась; после выхода из иммерсии сила иллюзии Мюллер-Лайера снова возрастала, несмотря на процесс обучения, которое происходило от сессии к сессии. А в группе ИМ+ВН весовое нагружение вело к увеличению силы иллюзии (как Мюллер-Лайера, так и Понзо) и переоценке верхнего отрезка нейтральных стимулов вне зависимости от экспериментальных условий.

Известно, что уменьшение притока информации от проприоцептивного входа в условиях микрогравитации ведет к снижению роли *левополушарных* механизмов обработки информации и компенсаторного увеличения роли *правополушарных* механизмов [Киренская и др., 2006]. Также показано, что большее участие в обработке информации *правого* полушария ведет к использованию метрической, а не категориальной, системы репрезентации, что приводит к более точной оценке длин отрезков [Карпинская, Ляховецкий, 2012]. Таким образом, можно предполагать, что основным фактором, влияющим на силу иллюзии в наших опытах, является не обучение и не лежащее положение испытуемого, а собственно гравитационная разгрузка, снижающая уровень активации левого полушария, что в свою очередь ведет к использованию метрической системы репрезентации, преимущественно связанной с активностью правого полушария.

Достоверное отличие от нуля вербальной оценки иллюзии Понзо у более молодых испытуемых группы ИМ+ВН, а также большее ее значение при моторной оценке по сравнению с группой СИ, в первом исследовании может быть обусловлено уменьшением силы этой иллюзии при увеличении возраста испытуемых [Brislin, 1974].

Зависимость знака силы иллюзии Понзо от модальности оценки при наличии зрительной обратной связи хорошо согласуется с литературными данными [Ganel et al., 2008] и является аргументом в пользу гипотезы Милнера и Гудэйла о существовании различных зрительных подсистем для восприятия и для действия. В отличие от задач на схватывание (*grasping*), в которых было показано как отсутствие иллюзии Мюллер-Лайера, так и иллюзии Понзо [Ganel et al., 2008], в наших экспериментах с указывающими (*pointing*) движениями руки эти иллюзии ведут себя различным образом. Прежде, в подобных экспериментах нами было показано, что иллюзия Понзо, в отличие от иллюзии Мюллер-Лайера, при таком варианте оценки (наличие зрительной обратной связи) не отличается от нуля. Эти отличия в силе иллюзий Понзо и Мюллер-Лайера позволили нам предположить, что они обязаны своему возникновению особенностям обработки сцены на различных уровнях зрительной системы [Карпинская, Ляховецкий, 2014]. Некоторое отличие от наших прошлых экспериментов (сила иллюзии Понзо отрицательна, а не равна нулю) может быть объяснено тем, что прежде испытуемые оценивали иллюзию дважды, сначала (как и в настоящем опыте) при наличии иллюзии на экране сенсорного монитора, а потом на пустом экране (по памяти). Экспериментальная парадигма прежнего эксперимента в большей степени задействовала рабочую память и тем самым усиливала силу иллюзии Понзо (от отрицательной к нулю).

Некоторая переоценка длины верхнего отрезка у группы ИМ+ВН для вербальных суждений может быть объяснена ассимилятивной иллюзорной установкой, наблюдаемой нами и ранее в подобных опытах [Карпинская, Ляховецкий, 2014]. В каждой из экспериментальных сессий испытуемые группы ИМ+ВН после надевания костюма «Пингвин» оценивали отрезки менее точно, чем до его надевания, что также может быть обусловлено ассимилятивной иллюзорной установкой, возникающей при усилении иллюзий при увеличении проприоцептивного информационного притока, возникающего вследствие применения весового аксиального нагружения.

Скорости. Наблюдаемые зависимости уменьшения скорости рабочей точки руки во время иммерсии подобны упомянутым в [Sangals et al., 1999], где скорость следящих движений руки космонавтов постепенно снижалась по мере пребывания в космосе. При этом полученные данные, также как и в [Корнилова и др., 2016], указывают на более медленные по сравнению с пребыванием в обычной среде, но при этом высокостабильные по точности движения руки, обладающие малой вариативностью.

Задачи воспроизведения длин отрезков можно рассматривать как простые сенсомоторные задачи, однако различие во времени показывает, что задачи, связанные с иллюзиями, и «нейтральные» задачи различаются испытуемыми. До сих пор не существует единой теории, описывающей механизм формирования иллюзий, указывается вовлеченность как низкоуровневых, так и высокоуровневых механизмов [Coren et al., 1976]. Однако

большинство авторов придерживаются единого мнения относительно того, что интерпретация, а именно то, как человек осознает предъявленную информацию, оказывает существенное влияние на возникновение иллюзорной ошибки. Появление дополнительной информации, изменяющей восприятие длины отрезков, усложняет задачу оценки длины за счет того, что возникает противоречие между осознаваемой иллюзорной длиной и реальной длиной отрезков [Карпинская, 2015]. Такое противоречие может приводить к увеличению времени моторного ответа. Чем больше времени требуется для решения задачи, тем она сложнее, то есть тем больше противоречие, возникающее из-за влияния когнитивных (высокоуровневых) факторов (работы сознания) [Аллахвердов, 2012].

Таким образом, различия скоростей движения рабочей точки руки в зависимости от вида иллюзии согласуется с вышеупомянутой гипотезой о том, что иллюзии Понзо и Мюллер-Лайера обязаны своим возникновением различным уровням зрительной системы [Карпинская, Ляховецкий, 2014].

В заключение отметим, что нами обнаружены отличия при сенсомоторном ответе в двух группах и различия в оценке двух иллюзий. Пребывание в костюме «Пингвин» ведет к увеличению силы иллюзий, у группы ИМ после окончания иммерсии сила иллюзии Мюллер-Лайера возрастает. Предположительно, основным фактором, влияющим на силу иллюзий, является гравитационная разгрузка, снижающая уровень активации левого полушария, что ведет к использованию метрической системы репрезентации, преимущественно связанной с активностью правого полушария.

Литература

- Аллахвердов В.М. 2012. Когнитивная психология сознания. Вестник СПбГУ. Сер. 6. 2. – С. 50-59.
- Барер А.С., Козловская И.Б., Тихомиров Е.П. 1998. Влияние профилактического нагрузочного костюма "Пингвин" на метаболизм человека при движениях. Авиакосмическая и экологическая медицина. 32(4). – С. 4-8.
- Карпинская В.Ю., Ляховецкий В.А. 2012. Роль межполушарной асимметрии при сенсомоторной оценке иллюзий восприятия. Экспериментальная психология. 1. – С. 35-44.
- Карпинская В., Ляховецкий В. 2014. Различия в сенсомоторной оценке иллюзий Понзо и Мюллер-Лайера. Психологические исследования. 7(38).
- Киренская А.В., Томиловская Е.С., Новотоцкий-Власов В.Ю., Козловская И.Б. 2006. Влияние моделируемой микрогравитации на характеристики медленных саккадических потенциалов. Физиология человека. 32(2). – С. 10-19.
- Корнилова Л.Н., Глухих Д.О., Наумов И.А., Хабарова Е.В., Екимовский Г.А., Павлова А.С., Козловская И.Б. 2016. Влияние оптокинестической стимуляции на зрительно-мануальное слежение в условиях опорно-проприоцептивной депривации. Физиология человека. 42(5). – С. 49-62.
- Томиловская Е.С. 2011. Эксперимент с 5-суточной иммерсией: задачи, объем, структура исследований, особенности методических подходов. Авиакосмическая и экологическая медицина. 45(6). – С. 3-7.
- Brislin R.W. 1974. The Ponzo illusion: additional cues, age, orientation, and culture. J. of Cross-Cultural Psychology. 5.
- Coren S., Girgus J.S., Erlichman H., Hakstian A.R. 1976. An empirical taxonomy of visual illusions. Perception and Psychophysics. 20(2). – P. 129-137.
- Deregowski J.B. 2015. Illusions within an Illusion. Perception. 44(12). – P. 1416-21.
- Ganel T., Tanzer M., Goodale M.A. 2008. A double dissociation between action and perception in the context of visual illusions: opposite effects of real and illusory size. Psychological Science. 19(3). – P. 221-225.
- Gamble C.M., Song J.H. 2017. Dynamic modulation of illusory and physical target size on separate and coordinated eye and hand movements. J. of Vision. 17(3): 23.

- Hesse C, Franz V.H., Schenk T.* 2016. Pointing and antipointing in Müller-Lyer figures: Why illusion effects need to be scaled. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 42(1). – P. 90-102.
- Kausler D.H.* 2012. *Experimental Psychology, Cognition, and Human Aging*. NY: Springer Science & Business Media.
- Lipshits M., McIntyre J.* 1999. Gravity affects the preferred vertical and horizontal in visual perception of orientation. *NeuroReport*. 10: – P. 1085-1089.
- Parks T.E.* 2013. On depth processing in the production of the Ponzo illusion: two problems and a solution. *Perception*. 42(2). – P. 242-244.
- Sangals J., Heuer H., Manzey D., Lorenz B.* 1999. Changed visuomotor transformations during and after prolonged microgravity. *Exp. Brain Res.* 129(3). – P. 378-90.
- Villard E., Garcia-Moreno F.T., Peter N., Clement G.* 2005. Gravity affects the preferred vertical and horizontal in visual perception of orientation. *NeuroReport*. 16(12). – P. 1395-1398.